

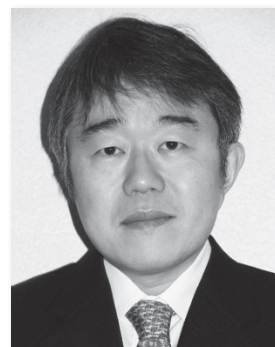
(第40回未来医学研究会大会<特集II>) フロントラン ナー報告 術中情報処理とロボティクスによる次世 代治療機器

著者名	正宗 賢
雑誌名	未来医学
号	31
ページ	56-60
発行年	2018-02-15
URL	http://hdl.handle.net/10470/00031869

フロントランナー報告 術中情報処理と ロボティクスによる 次世代治療機器

東京女子医科大学先端生命医科学研究所先端工学外科学

正宗 賢
Ken MASAMUNE



1. はじめに

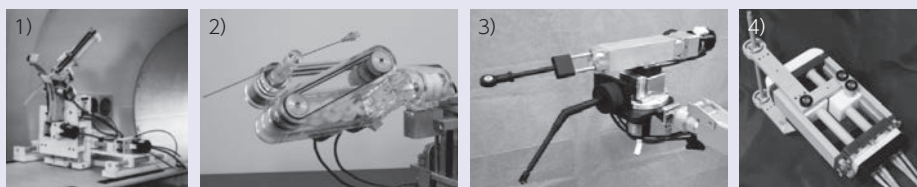
本稿では、未来の医療技術において本質的な要素となるであろう、術中の患者情報の取得とそれに連動した工学技術を用いた治療実現を目指した研究として、ロボティクスを利活用した新たな治療機器の開発展開について述べる。ロボットというキーワードは定義が幅広いため、ここではロボットが有する構成要素であるセンシング技術や制御技術などの機械・デバイスを人の意図した通りに動かすための要素技術をロボティクスとする。医療分野におけるロボットの導入では、Intuitive Surgical社によるda Vinciが有名であるが、研究レベルでは1990年代から国内外で数多く研究されているテーマである。

我々は、ロボティクスを用いて外科治療を行う研究開発を行ってきた。ロボティクスが積極的に用いられてきた背景には、手術室内にて術前・術中の患者の特に画像情報が多く得られるようになってきたことが挙げられる。また、並行してより高度な機械制御技術、知能化(AI)技術の向上も進んできており、情報と機械のシナジーが手術

支援ロボット開発の駆動源になるのは必然的である。そこで本稿では、情報×ロボティクスによる手術支援機器の位置付けについて示し、具体的事例として画像誘導下治療支援ロボットの現状、特にMRI画像情報誘導による位置決めロボットの紹介を行う。また、内視鏡×ロボティクスの事例として、同軸レーザ内視鏡デバイスの研究開発について現状および課題、そして今後の動向を述べる。

2. 術中情報×ロボティクスによる治療支援

手術室で用いられる情報は多岐にわたり、近年の医療機器の高度化に伴い情報の量も増大の一端をたどる。特にX線やCT、MRI、超音波断層画像装置といった医用画像撮像装置が導入されることにより、患部や注目部位の位置情報がその場で得られ、機械との接続による精密な位置決め等の手術が行われるようになってきた。その一方で、内視鏡の技術発達により、体内深部の局所の画像情報を得るようになってきた。局所での治療用デバイスとの組み合わせにより、新しい局所低侵襲



1) 世界初プロトタイプ機(エンプラ、超音波モータ、6DOF) 2) 2号機(穿刺部3DOF(アクリル、エンプラ)+位置決め部3DOF(アルミ、超音波モータ)) 3) 3号機(刺入角度決め2DOF(エンプラ、アルミ)、超音波モータ) 4) 完全非磁性ロボット(刺入角度決め2DOF、エンプラ、プラスチックモータ)

図1 MRI画像誘導下穿刺ロボットの研究開発

治療デバイスが次々と研究開発されてきている。

ここでは、画像誘導下における治療支援ロボットの開発事例と、内視鏡画像下の治療支援ロボティクスについて紹介する。

2.1 画像誘導下治療×ロボットの現状と課題

画像誘導下治療支援ロボットは1980年代のKwohらによるX線CT下穿刺ロボットの研究を皮切りに数多く行われてきた [1-3]。画像取得装置のモダリティの増加、空間分解能、時間分解能の能力の向上に伴い、利用情報が術前のものから術中撮像された画像情報へと移り、術中の対象の変化に追従して患部を精確に捉えるロボットの研究開発が行われてきた。いわゆる穿刺による治療の目的としては、はじめは生検や薬物注入、排膿などの処置に用いられていたが、近年では脳深部刺激療法DBS (Deep Brain Stimulation) による振戦の抑制や、前立腺がん治療を目的として放射線源を患部に一定間隔で埋め込む治療Brachytherapyなども行われている [3-4]。

その一方で、被曝のないMRIは、血管や神経の描出、機能画像などの有用な特徴があり、低侵襲治療実現のため積極的に用いられるようになった。MRIは均一磁場に対する影響の授受が課題であり、従来のロボティクス技術がそのまま導入できない。そこで我々はこれまでに強磁場環境下

で駆動可能な小型の非磁性ロボット開発を行ってきた。主目的は穿刺等の精密位置決めの支援であり、特に術中に変形・移動する臓器を対象とした治療の低侵襲性を高めることが期待される。プロトタイプ機からの進展を図1の1)~4)に順に並べた。ここで比較するポイントは、機構、構造材料およびアクチュエータの変遷である。世界初のMRI内手術支援ロボット [5] である1)および後継機2)には空間位置を決めるために必須である6自由度の動きを持たせたが、3)および4)は精密位置決めが求められる方向制御については2自由度のロボットが行い、大局的な位置決め、刺入点決めおよび穿刺作業自体は術者が行うことでロボットの簡素化を図った。また、駆動アクチュエータとして1)~3)は非磁性アクチュエータとしてセラミックスによる超音波モータを利用し、また4)ではエアによるステッピングモータを独自に開発することで、完全な非磁性モータによる非磁性ロボットを実現した [6]。これによりMRIに対する影響を極力抑えることができた。これらは機構的にも安全性、滅菌・洗浄性を考慮した機構であり実臨床を強く意識した設計である。

MRI下駆動ロボットのロボティクス研究は上述を含め広く進んでおり、マスタースレーブ型ロボットなどへの展開も進んでいる [7]。今後は、各種画像モダリティを術中に得ながら、それらの

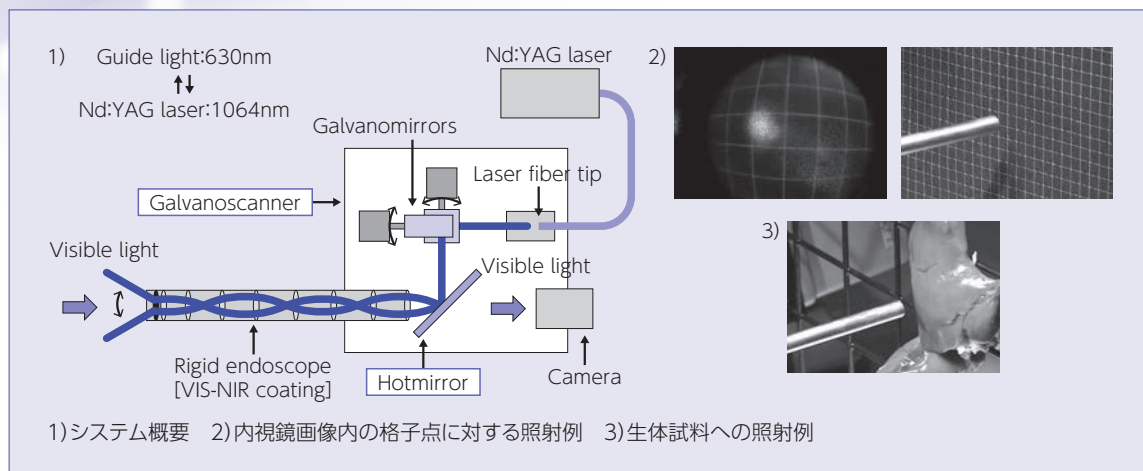


図2 同軸レーザ照射内視鏡の研究開発

情報に基づいてより精確・安全に治療が行われるであろう。

2.2 内視鏡×ロボットの現状と課題

内視鏡とロボットの組み合わせとして代表的なものは、内視鏡駆動ロボットと da Vinci に代表されるマスタースレーブ型の手術ロボットである。基本的にそれらは術者や助手の手先の動作をロボット先端部に反映させ、狭所などで低侵襲な治療を行うことを可能とするものである。しかしながら、da Vinci をはじめとしてそれらマスタースレーブ型のロボットは、手先の動きなどの実現による縫合や剥離等の処置を人間と同様にできるものの、エネルギーデバイスや吻合結紮デバイスなどを用いることが出来ない課題がある。すなわち、徒手的な処置には限界があり、機械に適した治療に対応することが未来の治療機器開発では考慮が必要である。そこで、我々の開発している、局所を観察する内視鏡とエネルギーデバイスを共存させた同軸レーザ内視鏡デバイスの研究開発を紹介する。

胎児外科治療を想定した先端屈曲細径鉗子マニピュレータの開発を山下らを中心に行ってきた

[4]。鉗子の中にエネルギーデバイスとしてレーザファイバを組み込み、胎盤の特定血管を焼灼する治療を行うことができるが、ロボットが動くことによる目標位置へのレーザの照射位置決め精度の維持や、胎盤や胎児への接触リスクの問題があった。術中3D超音波画像による状態把握および制御などロボティクス技術によりリスクを回避しうが、より安全性が高く簡便な手法として設計を見直した。図2-1)にシステム概要を示す。内視鏡の光軸に対して逆方向にレーザを導入することで内視鏡とレーザを同軸で観察・照射できる内視鏡の提案および試作を行った。ガルバノスキャナおよびホットミラーによりNd:YAG Laser を内視鏡に導入し、スキャナで角度を変えることでレーザの照射方向を変化させる。これにより、内視鏡画像を観察しながらレーザを画面上の任意の点やエリアに自動的に照射することが可能となった [9]。図2-2)にあるように、内視鏡画像上で照射ターゲットを指定するとレーザが照射されるシステムである。また、内視鏡画像をリアルタイム画像処理することで患部が呼吸等で動いた場合もトラッキング追従照射が可能となり、半自動的な処置が可能となる。本研究はニーズが

ありロボット開発で解決しようとしたが、ニーズを再検討し新たなロボティクス技術を適切な形で導入した事例である。

3. 考察

ここでは術中画像情報処理とロボティクスの融合による新しい治療機器として、MRI誘導下ロボティクスと同軸レーザ内視鏡システムの研究について紹介した。しかしながら、これらの研究成果が実臨床にて幅広く導入された事例は少ないのが実際のところである。特に本稿で紹介したアカデミア研究群は、ニーズはあるものの、メリットとコストのバランスが取れなければ上市することはかなりハードルが高い。すなわち、治療機器の開発は、上市することを視野に入れた際、安全性・有効性を示すことはもちろんのこと、ランニングコスト、ビジネスモデルなども含めた非技術系マターも解決しなければならない。

例えばMRI下ロボティクスで紹介した機器についても、実際の臨床の現場に深く浸透するには、まずMRIを術中で用いる点も含めて、安全性の担保は前提として、機器導入により得られる治療の優位性がかなり高いことを示す必要があり、かつオペレーションの時間やコストも考慮せねばならず、ロボティクスの要素研究のみでは到達出来ない。

同軸レーザ内視鏡についても同様である。特にレーザの術中活用は一般的な術式においてもまだ十分な普及には至っていないが、局所で観察と同時にレーザ照射を行える点は可能性として拡がりを持つと考えられ、様々な局面での検討を行っていく。我々はその一例として、薬剤併用コンビネーションデバイスによる治療としてPDD (Photo Dynamic Diagnosis) / PDT (PhotoDynamic

Therapy：光線力学療法)を局所で行うためのデバイス研究を展開している [10]。この成果により局所での内視鏡による観察即治療処置が実現できる。

また、どちらの技術においても今後は情報の質が重要なキーとなる。画像誘導手術においては、ターゲットとなる患部の自動抽出や追従、人工知能による過去の診断情報などとロボティクスとの連動による精密治療が今後展開されるであろう。また、内視鏡デバイスについても、内視鏡画像の高度画像処理・リアルタイム診断等による治療ターゲットの境界線判断などとロボティクスとの連動による新たな低侵襲治療が実現されるものと考えている。

4. 結言

未来の医療で広がりを見せるであろう医療機器として、情報×ロボティクスという観点で、これまでの事例および課題、そして次世代の機器の考え方の私見を述べた。ハードルを跳び越えるための労力と、アカデミアとしての研究活動の両立をさせるというジレンマは容易には解決できない。これについては、医療機関、産業、行政、大学、患者、国民からの様々な観点から議論する医療レギュレトリサイエンスの分野の更なる進展が望まれる。

略 歴

略歴

1993年3月 東京大学工学部精密機械工学科 卒業
1995年3月 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程 修了
1999年3月 博士(工学) 東京大学
1999年7-10月 Johns Hopkins University 客員研究員
2000年4月 東京電機大学理工学部生命工学科 講師
2005年8月 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 准教授
2014年4月～ 東京女子医科大学先端生命医科学研究所 先端工学外科学 教授
現在に至る

主な所属学会

日本コンピュータ外科学会、ライフサポート学会、日本生活支援工学会、日本生体医工学会、看護理工学会、日本機械学会、日本ロボット学会、日本脳神経外科学会、日本臓器保存生物医学会、ISCAS、IEEE、等

主な受賞

2000年 日本エム・イー学会荻野賞
2000年 日本エム・イー学会研究奨励賞・阪本研究刊行助成賞・阿部賞
2003年 日本コンピュータ外科学会論文賞(工学賞)
2007年 日本コンピュータ外科学会CAS Young Investigator Award 日立メディコ賞 Gold賞
2013年 日本コンピュータ外科学会論文賞(工学賞) 受賞
2016年 GOOD DESIGN賞(スマート治療室)

参考文献

- [1] Y. S. Kwok, J. Hou, E. A. Jonckheere and S. Hayati, "A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 35, no. 2, pp. 153-160, 1988
- [2] 山内 康司, 太田 裕治, 土肥 健純, 河村 弘庸, 谷川 達也, 伊関 洋, CT誘導定位脳手術のための穿刺マニプレータシステム, エル・エス・ティ学会誌, 5 巻 4 号, pp. 91-98, 1992
- [3] <http://www.renishaw.jp/jp/neuromate-stereotactic-robot-10712> (accessed 2017/12)
- [4] Fichtinger GJ, Fiene J, Kennedy CW, Kronreif G, Iordachita I, Song DY, Burdette EC, Kazanzides P., "Robotic assistance for ultrasound guided prostate brachytherapy", Med Image Comput Comput Assist Interv. ; 10 (Pt 1): 119-27, 2007
- [5] K. Masamune, E. Kobayashi, Y. Matsutani, M. Suzuki, T. Dohi, H. Iseki, and K. Takahara, "Development of an MRI-compatible needle insertion manipulator for stereotactic neurosurgery, " J. of Image Guided Surgery, Vol.1, Issue 4, pp. 242-248, 1995
- [6] Hiroyuki Sajima, Hiroki Kamiuchi, Kenta Kuwana, Takeyoshi Dohi, and Ken Masamune, "MR-Safe Pneumatic Rotation Stepping Actuator", JRM, Vol.24 No.5 pp. 820-827, 2012
- [7] H. Su et al., "A MRI-guided concentric tube continuum robot with piezoelectric actuation: A feasibility study," 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Saint Paul, MN, pp. 1939-1945, 2012
- [8] H Yamashita, K Matsumiya, K Masamune, H Liao, T Chiba, T Dohi, "Miniature bending manipulator for fetoscopic intrauterine laser therapy in twinto-twin transfusion syndrome", Surgical Endoscopy, Vol.21, pp. 430-435, 2008
- [9] N Yamanaka, H Yamashita, K Masamune, T Chiba, T Dohi, "An Endoscope With 2 DOFs Steering of Coaxial Nd:YAG Laser Beam for Fetal Surgery", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol.15, no.6, pp.898-905, 2010
- [10] Y. Hu and K. Masamune, "Flexible laser endoscope for minimally invasive photodynamic diagnosis (PDD) and therapy (PDT) toward efficient tumor removal," Opt. Express 25, 16795-16812 ,2017